



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenl gungsschrift**  
⑩ **DE 195 03 492 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**H 02 P 6/16**  
H 02 K 29/00

②① Aktenzeichen: 195 03 492.9  
②② Anmeldetag: 3. 2. 95  
④③ Offenlegungstag: 8. 8. 96

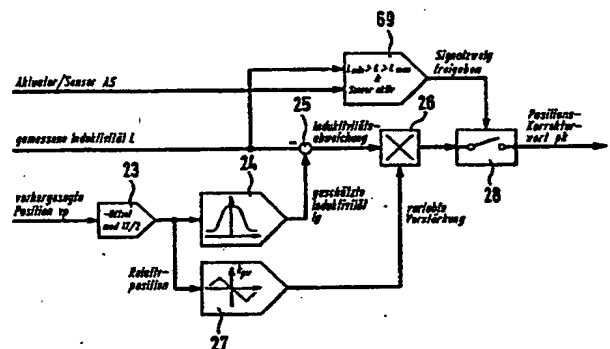
DE 195 03 492 A 1

⑦① Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Bitzer, Rainer, Dipl.-Ing., 71283 Weil, DE; Haegeler,  
Karl-Heinz, Dipl.-Phys. Dr., 71685 Vaihingen, DE;  
Kramer, Claus, Dr.-Ing., 74354 Besigheim, DE;  
Kaehler, Steffen, Dipl.-Ing., 30171 Hannover, DE;  
Winter, Arnold, Dipl.-Ing., 70794 Filderstadt, DE; Luh,  
Joachim, Dr.-Ing., 74080 Heilbronn, DE

⑤④ **Vorrichtung zum Antrieb und Lagebestimmung bei einem Stellsystem**

⑤⑦ Es wird ein sensorreduziertes Stellsystem angegeben, bei dem die Verstellung mit Hilfe eines Reluktanzmotors erfolgt. Durch Auswertung der stellungsabhängigen Induktivitäten des Motors kann mit Hilfe des Beobachterprinzips ohne zusätzlichen Sensor laufend die Position ermittelt werden. Der Antrieb übernimmt also auch die Funktion eines Sensors.



DE 195 03 492 A 1

Di folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen ntn mmen

## Stand der Technik

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Antrieb und zur Lagebestimmung bei einem Stellsystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Aus dem Stand der Technik sind Anwendungen bekannt, bei denen bei positions- und drehzahlgeregelten Stellsystemen sowohl die Position als auch die Drehzahl mit einem eigenen Sensor gemessen wird. Der elektrische Antrieb eines solchen Systems erfordert dabei eine positionsabhängige Kommutierung, die ausgehend von der im Lagegeber ermittelten Position erfolgt.

Ausgehend aus einem solchen bekannten Stellsystem liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vereinfachung zu erzielen und einen Sensor einzusparen.

Gelöst wird diese Aufgabe mit Hilfe der in Anspruch 1 angegebenen Vorrichtung. Bei dieser Vorrichtung übernimmt der Antrieb gleichzeitig die Funktion des Sensors.

## Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Hauptanspruchs hat den Vorteil, daß ein Positions- bzw. Drehzahlsensor eingespart werden kann. Erzielt wird dieser Vorteil, in dem als Antrieb ein Reluktanzantrieb verwendet wird, der gleichzeitig zur Lageerkennung verwendet wird. Dabei wird in vorteilhafter Weise ein Beobachterkonzept realisiert, bei dem die genaue Position ständig beobachtet wird.

Weitere Vorteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden mit der in den Unteransprüchen angegebenen Maßnahmen erzielt.

Vorteilhaft ist weiterhin, daß verschiedene Typen von Reluktanzmotoren verwendbar sind, wobei abhängig von der Kopplung der magnetischen Kreise des verwendeten Motors die Qualität der Induktivitätsmessung einstellbar ist.

Durch die Verwendung eines von der zugehörigen Leistungselektronik unabhängigen induktivitätsmeßverfahren haben die Schwankungen der Versorgungsspannung keinen Einfluß auf die Genauigkeit der Positionsmessung. Ein solches von der Leistungselektronik unabhängiges Induktivitätsmeßverfahren ermöglicht in vorteilhafter Weise die Einsparung von Leistungshalbleitern für die Motoransteuerung.

Die Integration von Motorsteuerung und Beobachter führt zu einem mit ASIC's realisierbaren kostengünstigen Antriebskonzept.

Die Struktur des Beobachters ist für Reluktanzmotoren mit beliebig vielen Wicklungen geeignet. Der Beobachter liefert sowohl die Geschwindigkeit als auch die Position, hochfrequente Schwankungen des Induktivitätsmeßsignals können mit Hilfe einer separaten, als Beobachterdynamik bezeichneten Schaltungsanordnung unterdrückt werden. Durch die Verwendung einer von der Position unabhängigen Verstärkung ist in besonders vorteilhafter Weise eine sichere Erkennung der Drehrichtung des Motors gewährleistet.

Weitere Vorteile der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden mit der in den Unteransprüchen angegebenen Maßnahmen erzielt.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Im einzelnen zeigt Fig. 1 den Querschnitt eines Reluktanzmotors des Typs 1, Fig. 2 den Querschnitt eines Reluktanzmotors vom Typ 2. Fig. 3 zeigt wie ein Reluktanzmotor bestromt wird und Fig. 4 verdeutlicht die Abhängigkeit der Induktivität von der Rotorstellung.

In Fig. 5 sind Spannungs- und Stromverlauf bei einer zweipunkt-Stromregelung zur Induktivitätsmessung aufgezeigt und Fig. 6 zeigt die Leistungselektronik, die für den Betrieb eines Reluktanzmotors erforderlich ist.

In Fig. 7 ist ein erstes Blockschaltbild eines Beobachters Nr. 1 dargestellt. Fig. 8 zeigt ein Blockschaltbild für einen zweiten Beobachter Nr. 2. In Fig. 9 ist ein Blockschaltbild einer Meßsignalverarbeitung im Beobachter Nr. 1 dargestellt und Fig. 10 zeigt ein Blockschaltbild einer Meßsignalverarbeitung im Beobachter Nummer 2. Fig. 11 zeigt den "Dynamik-Block" eines Beobachters.

## Beschreibung

Für den Aufbau des vorgeschlagenen sensorreduzierten Stellsystems eignen sich Motoren, die nach dem Reluktanzprinzip arbeiten. Bei solchen Motoren hängen die Induktivitäten ihrer Wicklungen von der Stellung des Rotors ab. Durch Messen der Induktivitäten kann daher auf die Rotorlage geschlossen werden.

In den Fig. 1 und 2 sind Querschnitte von Reluktanzmotoren verschiedener Typen dargestellt. Solche Reluktanzmotoren sind im Prinzip bereits bekannt und werden beispielsweise in der WO 90/11641 näher beschrieben.

Der in Fig. 1 dargestellte Reluktanzmotor besitzt drei Statorpolpaare, die mit 1, 2, 3 bezeichnet sind und zwei Rotorpolpaare A und B. Der Stator und der Rotor bestehen aus magnetisierbarem Material, beispielsweise aus Blech. Die Wicklungen an den sechs Statorpolen sind paarweise zu drei Wicklungen zusammengefaßt. Über diese drei Wicklungen wird der Reluktanzmotor angetrieben. In Fig. 1 sind lediglich die Wicklungen 4a bzw. 4b des Statorpaares 1 abgebildet.

Die Beschränkung auf drei Stator- bzw. Rotorpolpaare ist beispielhaft, andere Varianten dieses Motortyps können auch Mehrstator- und Rotorpole besitzen. Alle Reluktanzmotoren, bei denen die Statorpole einem Blechpaket angehören, werden im folgenden als Typ I bezeichnet.

Ein weiterer Typ von Reluktanzmotoren, der im folgenden als Typ II bezeichnet wird, weist magnetische Kreise auf, die voneinander getrennt sind. Fig. 2 zeigt einen typischen Motor des Typs II. Er besitzt ebenfalls sechs Wicklungen, die zu drei Wicklungen zusammengeschaltet werden. Im Unterschied zum Typ I sind die Wicklungen auf voneinander magnetisch getrennte Blechpakete aufgebracht. Dies hat den Vorteil, daß die magnetischen Felder sich nicht gegenseitig beeinflussen können. Dadurch verbessert sich die Genauigkeit der beobachteten Position erheblich. Die verschiedenen Wicklungen des Reluktanzmotors nach Fig. 2, die sich auf dem Stator S mit den sechs Statorelementen befinden sind im übrigen mit 5a, 5b, 6a, 6b und 7a, 7b bezeichnet, der Rotor ist mit R bezeichnet.

Wird die Wicklung 4a, 4b des Reluktanzmotors nach Fig. 1 bestromt, so bildet sich ein magnetisches Feld aus. Es entsteht dadurch eine Anziehungskraft zwischen

dem Statorpol 1 und dem Rotorpol A. Der Rotor dreht sich. Eine ständige Bestromung der Wicklung 4a, 4b des Stators 1 würde dazu führen, daß der Stator 1 und der Rotor a in der sogenannten "ausgerichteten" Position (aligned position) verharren würden. Es wird daher der Strom in der Wicklung kurz vor Erreichen der "ausgerichteten" Position abgeschaltet und es wird dann die Wicklung des Stators 3 bestromt. Damit entsteht eine Anziehungskraft zwischen dem Statorpol 3 und dem Rotorpol B. Werden die Wicklungen abwechselnd bestromt, dann entstehen derartige Kraftverteilungen, daß sich der Rotor dreht.

Für eine Umdrehung muß also jede Wicklung des Motors nach Abb. 1 viermal bestromt werden. Für die Wicklungen des Motors nach Fig. 2 wären für eine Umdrehung zehn Bestromungen erforderlich.

In Fig. 3 ist ein Beispiel für eine Bestromung eines Reluktanzmotors vom Typ I nach Fig. 1 aufgetragen. Es ist dabei jeweils der Strom I in einem Strang über dem Drehwinkel aufgetragen. Der Beginn der Bestromung wird als Einschaltwinkel  $\alpha_e$ , das Ende der Bestromung als Ausschaltwinkel ( $\alpha_a$  bezeichnet).

Die Induktivitäten der Wicklungen sind von der Rotorlage abhängig. Für den in Fig. 1 dargestellten Motor ergibt sich der in Fig. 4 dargestellte Zusammenhang. Ausgehend von diesem Induktivitätsverlauf wird zur Bestimmung der Position die Induktivität gemessen. Die Messung sollte dabei vorzugsweise dann erfolgen, wenn die betreffende Wicklung nicht zu Antriebszwecken bestromt wird. Wie Fig. 3, die den Zusammenhang zwischen den Strömen I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub> in den einzelnen Strängen und dem Drehwinkel  $\alpha$  zeigt, zu entnehmen ist, ist immer mindestens eine der Wicklung nicht bestromt und steht damit als Meßwicklung zur Verfügung.

Zur Messung der Induktivität können zwei verschiedene Methoden angewandt werden, die im folgenden nach der Beschreibung der Elektronik zur Ansteuerung des Reluktanzmotors noch näher erläutert werden.

Die Leistungselektronik zur Ansteuerung des Reluktanzmotors ist in Fig. 6 dargestellt. Dabei ist der Reluktanzmotor mit 8 bezeichnet. Der Leistungsteil selbst besteht aus dem Wechselrichter mit drei Halbleitervollbrücken H1, H2, H3 sowie drei Stromreglern S1, S2, S3.

Jede Halbleiterbrücke des Wechselrichters besitzt vier Transistoren T1 bis T4. Bei Einschalten der Transistoren T1 und T4 wird die Versorgungsspannung im positiven Sinn an die Wicklung gelegt. Mit den Transistoren T2 und T3 wird die Spannung im negativen Sinn auf die Wicklung geschaltet. Die Wicklungen sind in der Darstellung nach Fig. 6 die Wicklung 4a, 4b des Statorpolpaares 1 bzw. die Wicklung des Statorpolpaares 3.

Jeder Stromregler S1, S2, S3 liefert ein Signal an den Wechselrichter H1, H2, H3, welches angibt, ob T1/T4 oder aber T2/T3 durchgeschaltet werden sollen. Entsprechend schalten die Transistoren T1 bis T4 der einzelnen Halbleiter-Vollbrücken durch.

Für die Stromregelung können beispielsweise Zweipunkt-Regler mit Hysterese verwendet werden. Bei solchen Reglern pendelt der Iststrom immer innerhalb der Hysterese um den Sollstrom. Der Regler schaltet die Wicklungen also abwechselnd auf die Spannungen +UB und -UB, wobei UB die Versorgungsspannung ist. In Fig. 5 ist der entsprechende Strom bzw. die Spannung bei einer Zweipunkt-Stromregelung zur Induktivitätsmessung über der Zeit dargestellt.

Ein Schaltzyklus umfaßt einen +UB und einen -UB-Impuls. Die Steilheit des Stromanstieges hängt direkt von der Induktivität ab. Die Dauer, d. h. die Pulsweite

eines Schaltzyklus ist somit ein Maß für die Induktivität der Wicklung. Während der Messung wird die Wicklung nicht bestromt, d. h. der Stromsollwert ist Null. Es ist also zu unterscheiden, ob die Wicklung zum Erzeugen eines Drehmoments oder zur Messung benötigt wird.

Bei der Auswertung der Stromreglertaktung wird davon ausgegangen, daß Zweipunkt-Regler mit Hysterese verwendet werden. Sie takten wie bereits erwähnt immer um den Sollwert herum mit der eingestellten Hysteresebreite (Fig. 5). Die Dauer des Ein/Ausschaltzyklus hängt nahezu linear von der Induktivität der Wicklung ab. Damit kann die Induktivitätsbestimmung auf eine Pulsweitenbestimmung zurückgeführt werden. Eine solche Pulsweitenbestimmung kann digital sehr einfach beispielsweise mit einem Timerbaustein aufgebaut werden. Das der Zusammenhang zwischen der Induktivität und der Pulsweite tatsächlich weitgehend linear ist, soll im folgenden abgeleitet werden.

Idealisierend wird vorausgesetzt, daß die Schaltelemente keine Verzögerung aufweisen und verlustlos arbeiten. Die Zeitpunkte  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  (Fig. 5) bezeichnen die Umschaltunkte des Stromreglers. Für  $0 < t < t_1$  steigt der Strom an, für  $t_1 < t < t_2$  fällt der Strom ab. Der Einfluß des Wicklungswiderstandes R kann vernachlässigt werden, da der Strom durch die Wicklung üblicherweise sehr klein ist. Für die Pulsweite T ergibt sich damit:

$$T = 1/UB (2 \cdot X(IH/2, y(t_1)) - X(-IH/2, y(t_2)) - X(-IH/2, y(t_0)))$$

Dabei bedeuten:

UB = Versorgungsspannung des Wechselrichters

IH = Hysteresebreite

y = Position (Rotorstellung)

X( ) magnetischer Fluß als Funktion voll Strom und Position.

Offensichtlich hängt die Pulsweite T auch von der Drehgeschwindigkeit des Rotors ab. Im Stillstand ( $y(t_0) = y(t_1) = y(t_2) = y$ ) ergibt sich der folgende Zusammenhang:

$$T = 4/UB \cdot X(IH/2, y) = 2 L IH/UB$$

Für die Induktivität L ergibt sich somit:

$$L = 0,5 T UB/IH = k \cdot T$$

Somit wäre der lineare Zusammenhang zwischen der Induktivität und der Pulsweite belegt.

Die Methode, nach der die Induktivität ausgehend aus der Pulsweite bzw. der Periodendauer ermittelt wird, kann unter gewissen Umständen nachteilig sein, da sich die Betriebsspannung des Motors stark auf das Meßergebnis auswirkt.

Voraussetzung für diese Methode ist demnach, daß mit konstanter bzw. weitgehend konstanter Spannung gearbeitet wird. Ist dies nicht möglich, muß die Induktivitätsmessung nach einem anderen Verfahren wie sie aus dem Stand der Technik bekannt sind, durchgeführt werden. Beim Einsatz gängiger Induktivitätsmeßverfahren, z. B. mit einer Induktivitätsmeßbrücke, kann die Betriebsspannungsabhängigkeit vermieden werden. Welches Verfahren am günstigsten ist, muß von Fall zu Fall entschieden werden.

Ausgehend aus den gemessenen Induktivitäten werden die Positionen anhand eines Beobachters rekonstruiert.

iert. Ein Blockschaltbild eines Beobachters Nr. 1 ist in Fig. 7 dargestellt. Bei diesem Beobachter existiert für jede Wicklung des Motors ein Zweig, -der aus der gemessenen Induktivität  $L_1, L_2, L_3$  einen Korrekturwert für die Position ableitet. In Fig. 7 sind entsprechend Blöcke 10, 11, 12 eingezeichnet, denen die gemessenen Induktivitäten  $L_1, L_2, L_3$  zugeführt werden. Sie geben entsprechend Positionskorrekturwerte  $PK_1, PK_2, PK_3$  ab, die im Punkt 13 einander überlagert werden.

Als Eingangsgröße für die Blöcke 10, 11, 12 zur Meßsignalverarbeitung der Wicklungen 1, 2, 3 wird neben der Information bezüglich der Induktivitäten  $L_1, L_2, L_3$  auch für jede Wicklung die Information benötigt, ob die Wicklung zum Antreiben oder zum Messen benötigt wird. Diese Information kommt von der zugehörigen Motorsteuerung als binäres Signal und wird im Blockschaltbild der Fig. 7 als Akutator/Sensorwicklung 1, 2, 3 dargestellt.

An den Punkt 13 schließt sich die Beobachterdynamik 14 an, an deren Ausgang zum einen die geschätzte Geschwindigkeit  $v_g$  sowie die geschätzte Position  $g_p$  erhalten wird. Die geschätzte Geschwindigkeit  $v_g$  und die geschätzte Position  $g_p$  werden nach zeitlicher Verzögerung mit den Totzeitgliedern 67 bzw. 68 dem Block 66 als Positionsvorhersage zugeführt, der die Rotorposition vorhersagt. Die Totzeitglieder 67 bzw. 68 sind bei der digitalen Realisierung erforderlich. Die vorhergesagte Position  $v_p$  wird den Blöcken 10, 11, 12 zugeführt.

Mit der in Fig. 7 angegebenen Anordnung werden also die Korrekturwerte  $PK_1, PK_2, PK_3$  aller Zweige auf summiert und anschließend in einem Dynamikblock 14 weiterverarbeitet. Dieser Dynamikblock 14 wirkt als Tiefpaßfilter und liefert am Ausgang die geschätzten Werte für die Drehzahl (Geschwindigkeit) und die Position. Der Dynamikblock 14 kann beispielsweise ein Filter zweiter oder dritter Ordnung bilden.

Ein weiteres Blockschaltbild eines Beobachters Nr. 2 ist in Fig. 8 dargestellt. Es ist wiederum für jede Wicklung des Motors ein Kanal zur Meßwertverarbeitung vorhanden. Die Kanäle sind mit 15, 16, 17 bezeichnet. In jedem Kanal wird ein Korrekturwert für die geschätzte Position ermittelt. Die Korrekturwerte werden ebenso wie beim Beispiel nach Fig. 7 auf summiert (Summationspunkt 18) und anschließend einem Dynamikblock 19 zugeführt. Dieser Dynamikblock 19 wirkt wiederum als Filter und liefert Schätzwerte der Geschwindigkeit  $v_g$  und der Position  $g_p$ . Die ermittelte Position wird den Blöcken zur Meßwertverarbeitung 15, 16, 17 wieder zugeführt. Ebenso werden diesen Blöcken 15, 16, 17 Informationen zugeführt bezüglich der Induktivitäten  $L_1, L_2, L_3$  der Wicklungen 1, 2, 3 sowie Informationen bezüglich der Wirkung als Akutator/Sensor. Im Unterschied zum Beobachter Nr. 1 wird zusätzlich noch der Strom in der Wicklung 1, der Strom in der Wicklung 2 sowie der Strom in der Wicklung 3 wie in Fig. 8 dargestellt, zugeführt. Mit den Blöcken 20, 21 und 22 erfolgt wiederum die Vorhersage der Position  $v_p$ .

Als Eingangsgröße für die Blöcke 15, 16, 17 zur Meßsignalverarbeitung der Wicklungen 1, 2, 3 wird neben der Information bezüglich der Induktivitäten  $L_1, L_2, L_3$  auch für jede Wicklung die Information benötigt, ob die Wicklung zum Antreiben oder zum Messen benutzt wird. Diese Information kommt von der zugehörigen Motorsteuerung als binäres Signal und wird im Blockschaltbild der Fig. 8 als Akutator/Sensor-Wicklung 1, 2, 3 dargestellt.

In Fig. 9 ist dargestellt, wie im Beobachter Nr. 1 aus der gemessenen Induktivität  $L$  der Positionskorrektur-

wert  $p_k$  gebildet wird. Aus der vorhergesagten Position  $v_p$  wird ein Schätzwert für die Induktivität  $L_g$  abgeleitet, wobei die Ableitung in den Blöcken 23, 24 erfolgt. Aus der vorhergesagten Position  $g_p$  wird der Winkel zwischen Stator- und Rotorpol berechnet, es wird also die Relativposition des Motors ermittelt. Die Relativpositionen für die drei Meßsignalverarbeitungskanäle werden wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} \text{Kanal zur Wicklung 1: } y(1, k) &= y_k \bmod(\pi/2) \\ \text{Kanal für Wicklung 2: } y(2, k) &= (y_k - \pi/3) \bmod(\pi/2) \\ \text{Kanal für Wicklung 3: } y(3, k) &= (y_k - 2\pi/3) \bmod(\pi/2) \end{aligned}$$

Dabei bedeutet  $y(k)$ : vorhergesagte Position zum Zeitpunkt  $k$   $y(1, k), y(2, k), y(3, k)$ : vorhergesagte Relativpositionen der drei Kanäle zur Meßsignalverarbeitung.

Die Relativpositionen stehen am Ausgang des Blockes 23 zur Verfügung und werden weiterverarbeitet im Block 24 zur Erzeugung einer geschätzten Induktivität  $L_g$ . Der Zusammenhang von Relativposition und Induktivität ist in einer Tabelle abgelegt, dies wird mit Block 24 symbolisiert.

Aus der geschätzten Induktivität  $L_g$  und der gemessenen Induktivität  $L$  wird in Punkt 25 die Differenz gebildet. Diese Differenz wird im Block 26 mit einem Verstärkungsfaktor multipliziert, der ausgehend aus der Relativposition im Block 27 gebildet wird. Das Ergebnis wird in Abhängigkeit von der Schalterstellung des Blocks 28 weitergegeben.

Als Resultat wird ein Korrekturwert  $p_k$  erhalten. Der Schalter im Block 28 ist geschlossen, wenn die logischen Bedingungen im Block 69 erfüllt sind. Dies ist dann der Fall, wenn das Signal Akutator/Sensor AS anzeigt, daß die Wicklung als Meßwicklung betrieben wird und die gemessene Induktivität innerhalb eines Intervalls  $L_{\min}, L_{\max}$  liegt. Der Verstärkungsfaktor hängt von der geschätzten Position ab, dies ist erforderlich, da der Zusammenhang zwischen Induktivität und Position nicht eindeutig ist. An bestimmten Positionen ist mit einer Wicklung nicht entscheidbar, ob sich der Rotor vor- oder zurückdreht. Dann muß der Verstärkungsfaktor gleich Null sein. Mit Hilfe einer zweiten Wicklung ist aber die Drehrichtung eindeutig bestimmbar. Die nähere Erläuterung der Drehrichtungserkennung wird anhand des folgenden Ausführungsbeispiels verdeutlicht.

Wird eine Wicklung bestromt, wird der entsprechende Korrekturwert auf Null gesetzt, da in diesem Fall die Induktivitätsmessung unterbleiben soll. Die Umschaltung von Antrieb auf Sensor bzw. die Wahl des richtigen Positionskorrekturwertes ist durch Block 28 symbolisiert (A/S).

Da bei Motoren des Typs I die magnetischen Kreise miteinander wie Transformatoren verkoppelt sind, ist das Induktivitätsmeßsignal unter Umständen stark gestört. Eine wesentliche Verbesserung bezüglich der Dynamik und der Genauigkeit wird erzielt, wenn als Motor ein solcher verwendet wird, bei dem die magnetischen Kreise voneinander isoliert sind. Dies wird üblicherweise mit Motoren des Typs II erreicht. Die geeignete Kombination von Motorkonstruktion und Positionsbeobachter führt zu dem gewünschten Resultat.

Der Aufbau eines weiteren Kanals zur Meßsignalverarbeitung im Beobachter Nr. 2 ist in Fig. 10 dargestellt. Bei dieser Meßsignalverarbeitung im Beobachter Nr. 2 wird im Unterschied zur Meßsignalverarbeitung im Beobachter Nr. 1 die geschätzte Induktivität unter Berücksichtigung der Bestromung der Nachbarwicklungen bestimmt. Die Induktivitätskennlinie enthält dabei neben

der Position nun auch den Parameter Iststrom der Nachbarwicklung.

Jede Wicklung hat zwei Nachbarwicklungen, d. h. es wäre notwendig, die Induktivitätskennlinie sogar mit drei Parametern zu versehen: der geschätzten Position, dem Strom durch die erste Nachbarwicklung und dem Strom durch die zweite Nachbarwicklung. Bei Untersuchungen hat sich jedoch gezeigt, daß immer der Einfluß einer Nachbarwicklung dominiert. Welche Nachbarwicklung dominant ist, hängt von der Rotorstellung ab. Dies wird dazu ausgenutzt, die Anzahl der Parameter der Induktivitätskennlinie zu reduzieren. Je nachdem, ob die Relativposition negativ oder positiv ist, wird der Iststrom der einen oder der anderen Wicklung versendet.

Wird die Wicklung 1 betrachtet, so wird bei negativer Relativposition der Strom von Wicklung 2 verwendet und bei positiver Relativposition der Strom von Wicklung 3. Entsprechendes gilt für die Wicklungen 3 und 1 bzw. für Wicklung 2 mit 1 und 2. Die Quantisierung des Kennfeldes für den Parameterstrom ist sehr klein (beispielsweise 10 Schritte).

Im Dynamikblock 14 bzw. 19 der Fig. 7 bzw. 8 werden die zu einem Korrekturwert aufsummierten Positionskorrekturwerte PK1, PK2, PK3 verarbeitet. Das zugehörige Signal ist im allgemeinen stark verrauscht. Zur Filterung wird deshalb der Block "Beobachterdynamik" 14, 19 verwendet. In Fig. 11 ist ein Blockschaltbild der Beobachterdynamik 14, 19 dargestellt.

Der Dynamikblock 14, 19 stellt ein Filter zweiter oder dritter Ordnung dar, die gestrichelt eingezeichneten Blöcke ergänzen das Filter zweiter Ordnung zu einem Filter dritter Ordnung. Als Filter dritter Ordnung umfaßt der Dynamikblock drei Blöcke 36, 37, 38, in denen Korrekturwerte K1, K2, K3 abgelegt sind. Über Zeitglieder 39, 40, 41 sowie Summationspunkte 45, 46, 47, 48, 49 erfolgt die Signalverarbeitung. Dabei wird sowohl die geschätzte Position  $y$  als auch die geschätzte Geschwindigkeit  $x$  und die geschätzte Beschleunigung über Verzögerungsblöcke 42, 43, 44 auf die entsprechenden Summations- bzw. Überlagerungspunkte zurückgekopelt.

Wird in der vereinfachten Version lediglich ein Filter zweiter Ordnung verwendet, besteht die Möglichkeit, daß bei längerer Beschleunigung des Rotors die geschätzte Geschwindigkeit der Istgeschwindigkeit hinterher eilt, es ergibt sich eine bleibende Abweichung während der Beschleunigungsphase.

Bei hohen Verstärkungsfaktoren reagiert der Beobachter sehr schnell, es wird eine gute Dynamik erhalten. Bei niedrigen Verstärkungsfaktoren werden die Störungen der Pulsweitenmessung besser bedämpft, d. h. das geschätzte Positionssignal ist ruhiger und genauer, womit eine hohe Genauigkeit bei der Auswertung erhalten wird. Durch geeignete Wahl der Verstärkung muß im allgemeinen ein Kompromiß gesucht werden.

Unter gewissen Umständen können die Induktivitätsmeßsignale starken Störungen unterliegen, der Motor kann auch sehr dynamisch sein. Es besteht dann die Gefahr, daß keine Lösung gefunden wird. In diesem Fall ist es erforderlich, entweder die Signalqualität zu verbessern oder es müssen Einschränkungen bei der Dynamik des Beobachters in Kauf genommen werden.

In der zeitdiskreten Realisierung des Beobachters lauten die Berechnungsgleichungen des Dynamikblocks 14 bzw. 19:

$$Y_{k+1} = Y_k + T x_k + T \cdot k_1 \Delta y \Sigma_k$$

$$x_{k+1} = x_k + T a_k + T \cdot k_2 \Delta y \Sigma_k$$

$$a_{k+1} = a_k + T \cdot k_3 \Delta y \Sigma_k$$

mit:  $a_k$  ... geschätzte Beschleunigung zum Zeitpunkt  $k$

$x_k$  ... geschätzte Geschwindigkeit zum Zeitpunkt  $k$

$y_k$  ... geschätzte Position zum Zeitpunkt  $k$ ,

$\Delta y \Sigma_k$  ... Summe aller Positions-Korrekturwerte zum Zeitpunkt  $k$ ,

$T$  ... Abtastperiode.

Zur Bestimmung der geschätzten Induktivität wird die vorhergesagte Position benötigt. In der digitalen Realisierung ist aufgrund der endlich kleinen Abtastperiode eine Totzeit vorhanden. Weiterhin ist die Rechenzeit des Beobachters zu beachten. Zudem muß berücksichtigt werden, daß die Pulsweitenmessung asynchron zum Beobachter abläuft. Letztendlich wird die vorhergesagte Position nach der Formel für  $y$  aus den vorherigen Werten der Position und der Geschwindigkeit berechnet:

$$y_k = y_{k-1} - T_{\text{tot}} \cdot x_{k-1},$$

mit:  $y_k$  vorhergesagte Position,

$y_{k-1}$  geschätzte Position des vorherigen Tastschrittes

$x_{k-1}$  geschätzte Geschwindigkeit des vorherigen Tastschrittes,

$T_{\text{tot}}$  Totzeit,

$i_{NB}$  Strom der Nachbarwicklung.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Antrieb und zur Lagebestimmung bei einem Stellsystem, bei dem der Antrieb mittels eines Reluktanzmotors durchgeführt wird und laufend eine Positionsbestimmung erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionsbestimmung ausgehend von der positionsabhängigen Induktivität der Wicklungen des Reluktanzmotors erfolgt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionsbestimmung aus gemessenen Induktivitäten der Wicklungen des Reluktanzmotors unter Verwendung eines Beobachters erfolgt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ansteuerung des Reluktanzmotors ein Zweipunktregler mit Hysterese eingesetzt wird und die Messung der Induktivitäten über die Bestimmung der Periodendauer dem Taktverhältnisses des Reglers erfolgt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der Induktivitäten der Spulen jeweils dann erfolgt, wenn die betreffende Spule nicht bestromt wird.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung der Induktivitäten der Wicklungen des Motors nach einem vorgebbaren Induktivitätsmeßverfahren erfolgt.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Antriebsmotor ein Reluktanzmotor eingesetzt wird, bei dem die magnetischen Kreise voneinander getrennt sind.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Antriebsmotor ein Reluktanzmotor eingesetzt wird, bei dem die magnetischen Kreise miteinander gekoppelt sind und bei der Auswertung die magnetische Kopplung der Wicklungen kompensiert

wird.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Wicklung des Motors oder jedem Wicklungspaar eine eigene Meßsignalverarbeitung zugeordnet wird und jeweils erhaltene Positionskorrekturwerte zu einem gesamten Positionskorrekturwert aufsummiert wird. 5

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der auf summierte Positionskorrekturwert in einer Beobachterdynamik gefiltert wird zur Ermittlung einer geschätzten Geschwindigkeit und einer geschätzten Position. 10

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Beobachterdynamik ein Filter zweiter oder dritter Ordnung darstellt und am Ausgang der Beobachterdynamik Werte für eine geschätzte Position, eine geschätzte Geschwindigkeit und bei einem Filter dritter Ordnung auch für eine geschätzte Beschleunigung abgegeben werden. 15 20

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel vorgesehen sind, die die ermittelten Werte für die Induktivitäten der Spulen mit oberen und/oder unteren Grenzen vergleichen und eine Signalfreigabe nur dann erfolgt, wenn die ermittelten Induktivitäten innerhalb dieser Grenzen liegen. 25

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß weitere Mittel vorhanden sind, die erkennen lassen, ob eine der Spulen des Reluktanzmotors bestromt wird und zum Aufbau eines Drehmoments führt oder nicht bestromt wird und als Sensor aktiv ist, wobei diese Mittel eine Signalfreigabe für den Positionskorrekturwert nur dann zulassen, wenn die betreffende Wicklung als Sensor aktiv ist. 30 35

---

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

50

55

60

65

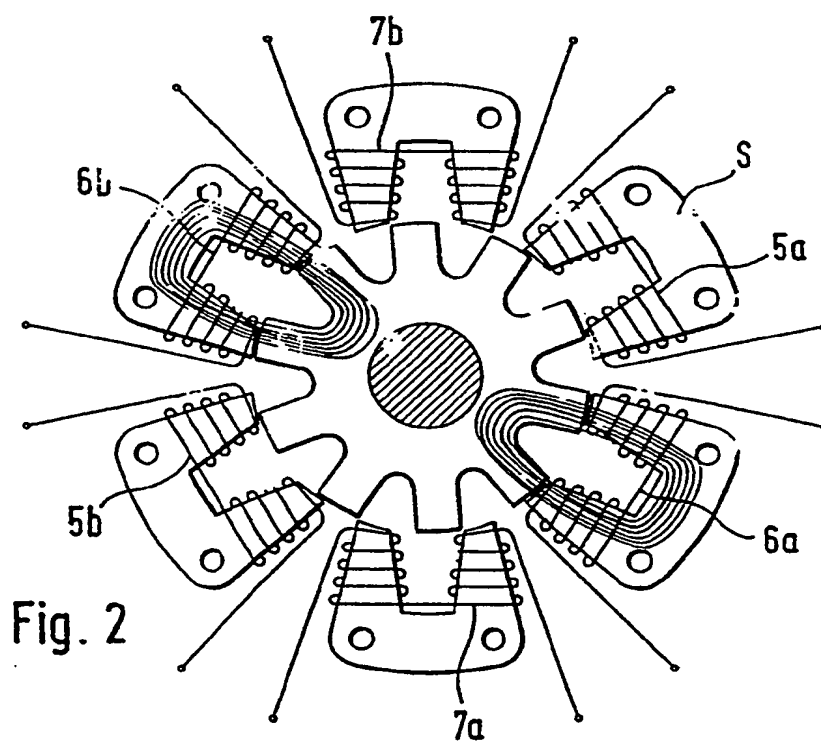
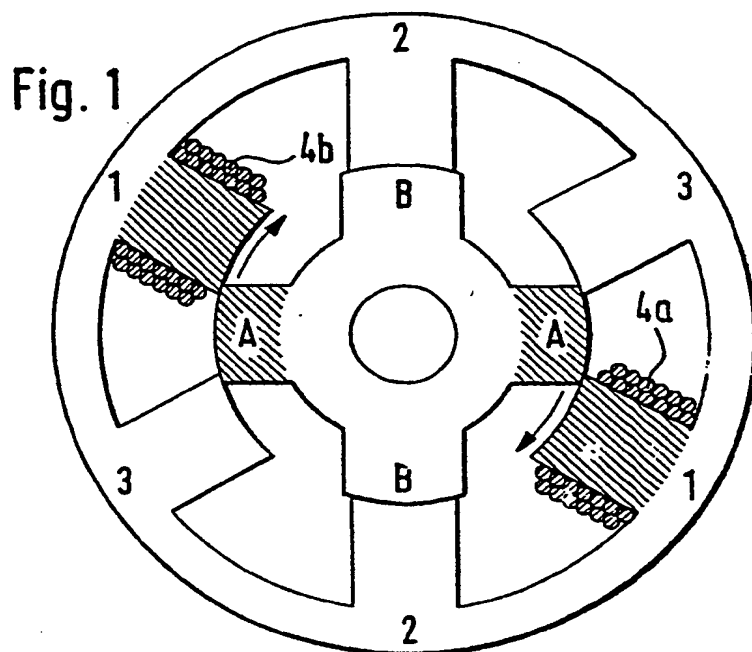


Fig. 3

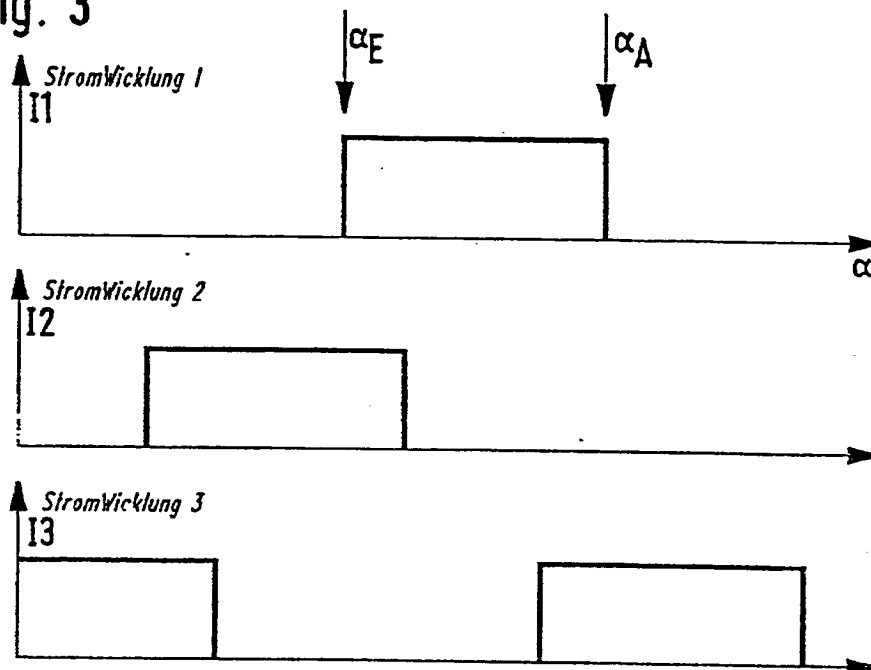


Fig. 4

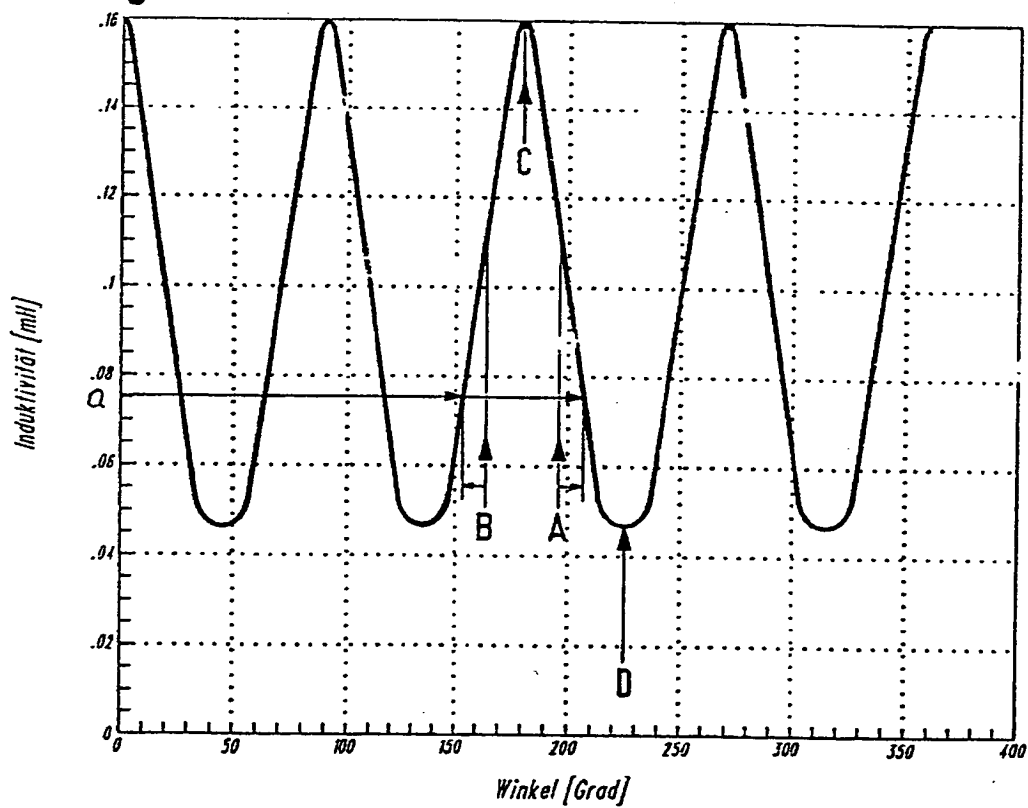


Fig. 5

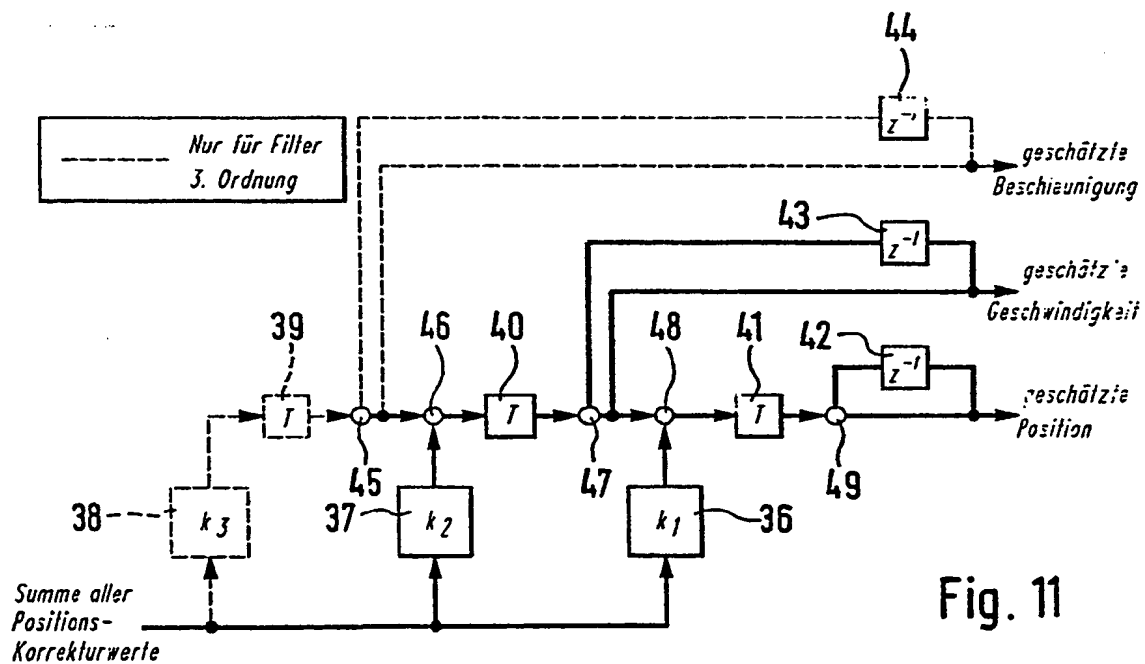
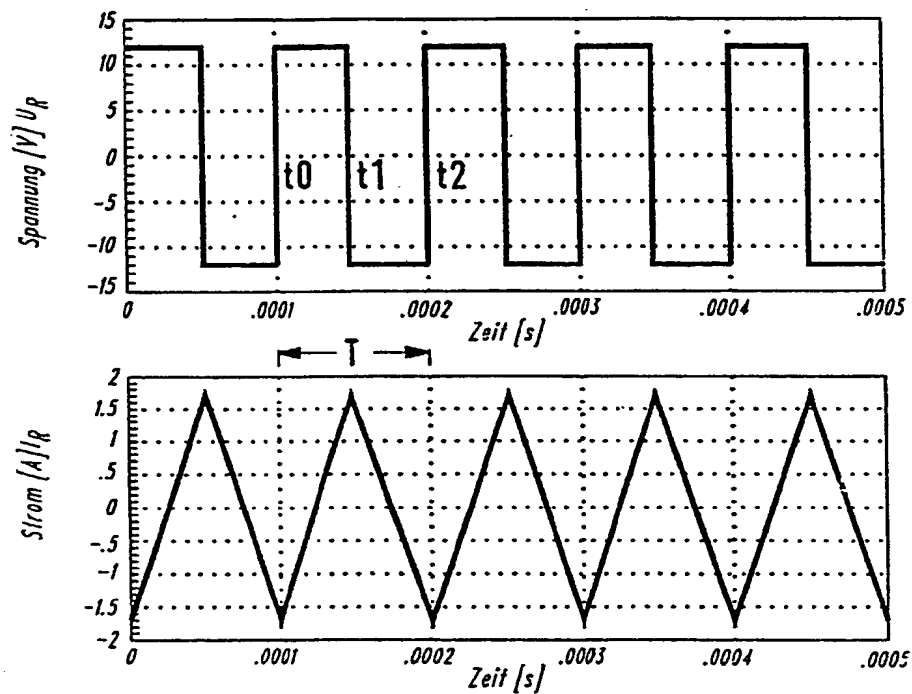
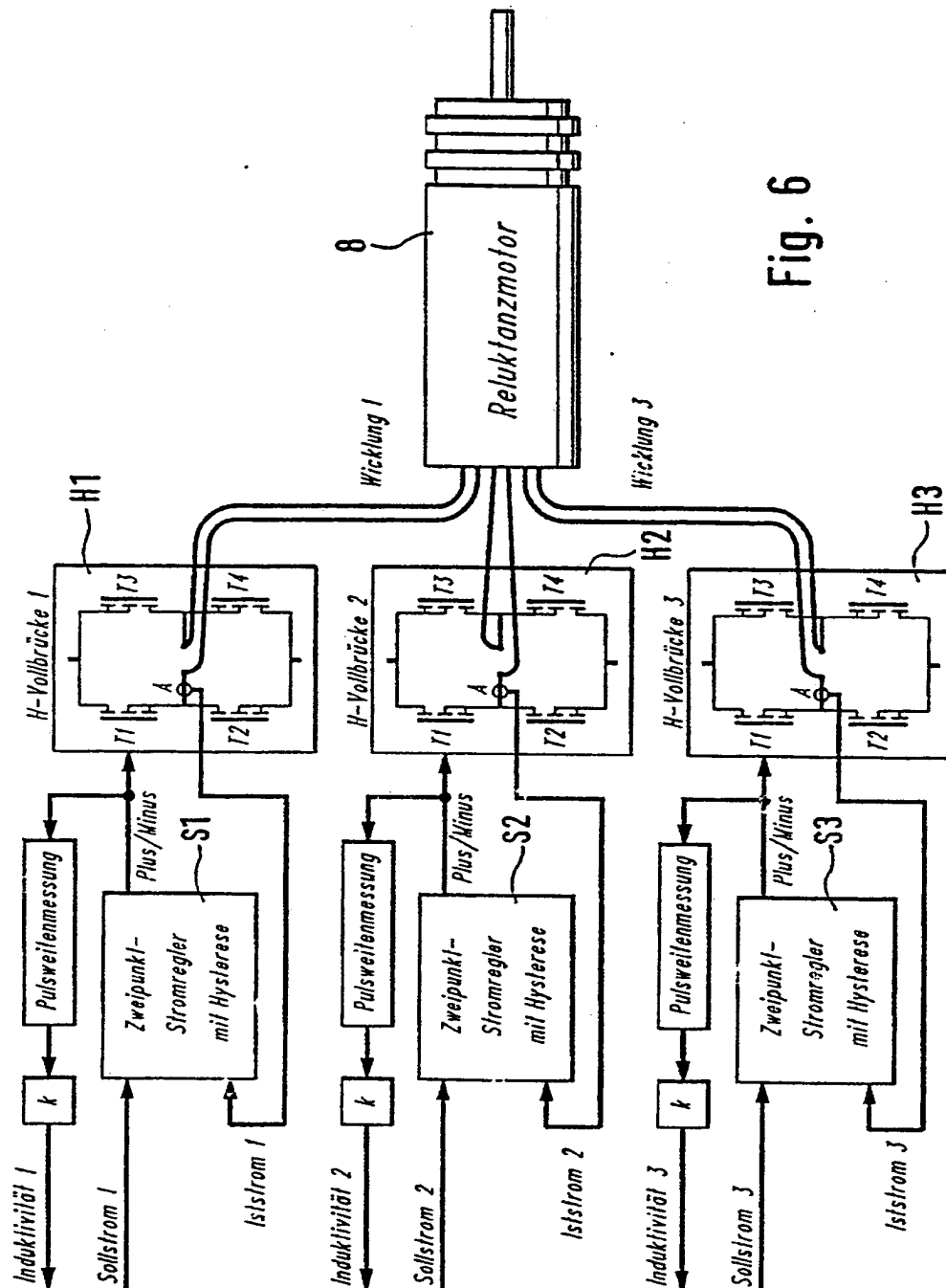


Fig. 11



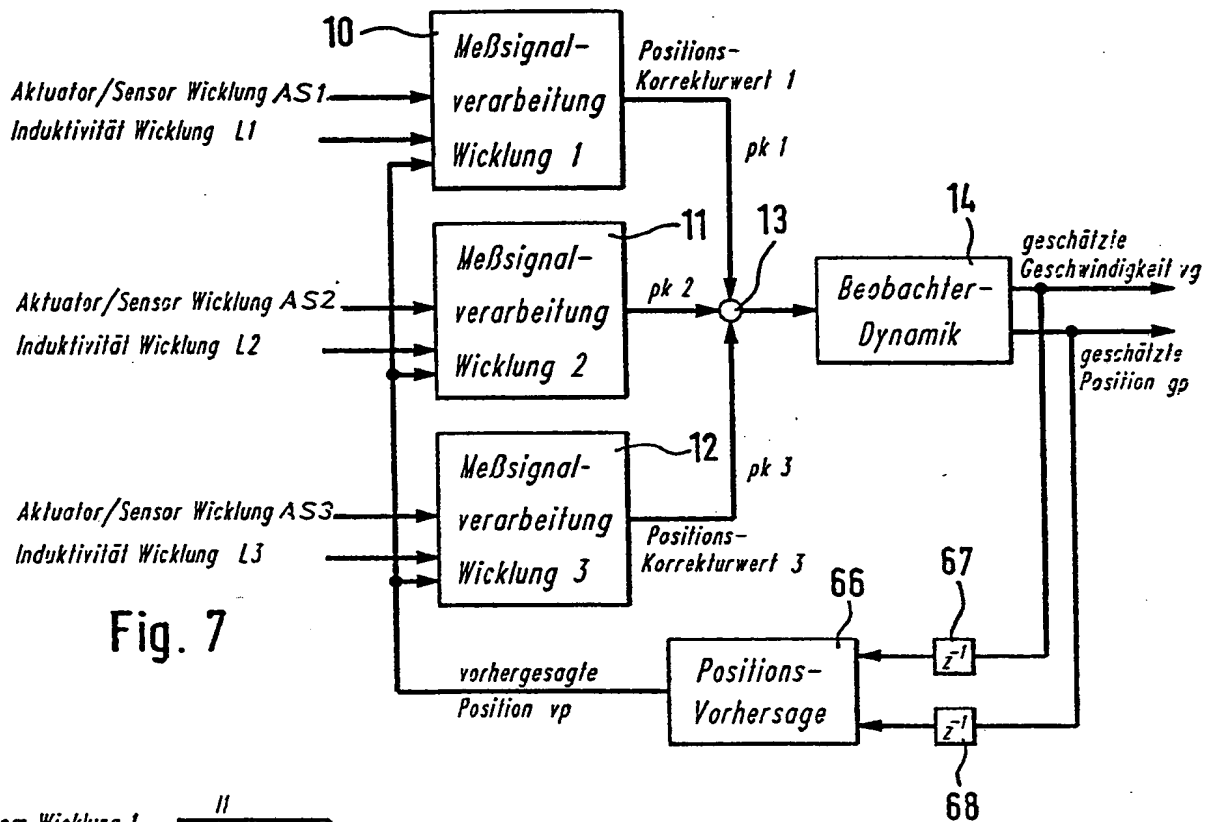


Fig. 7

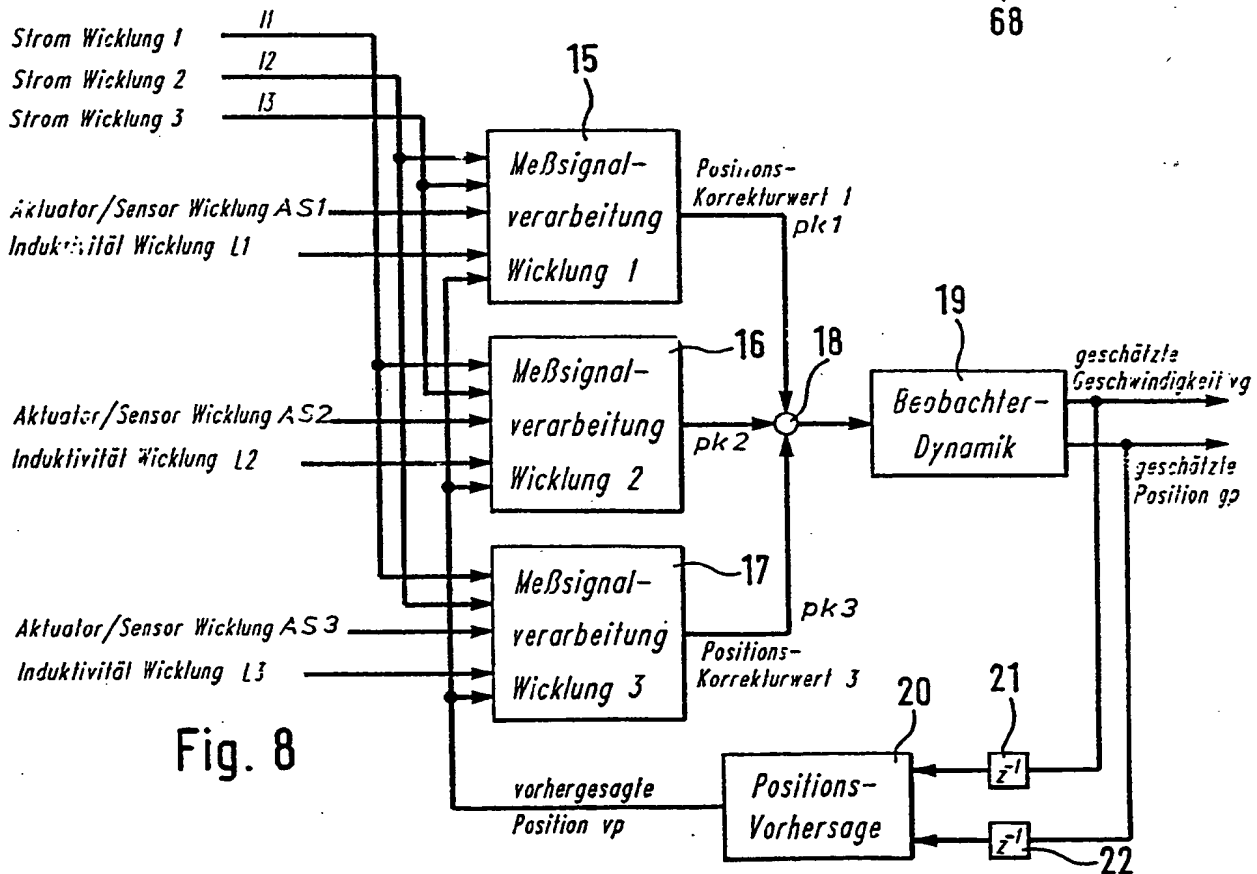


Fig. 8

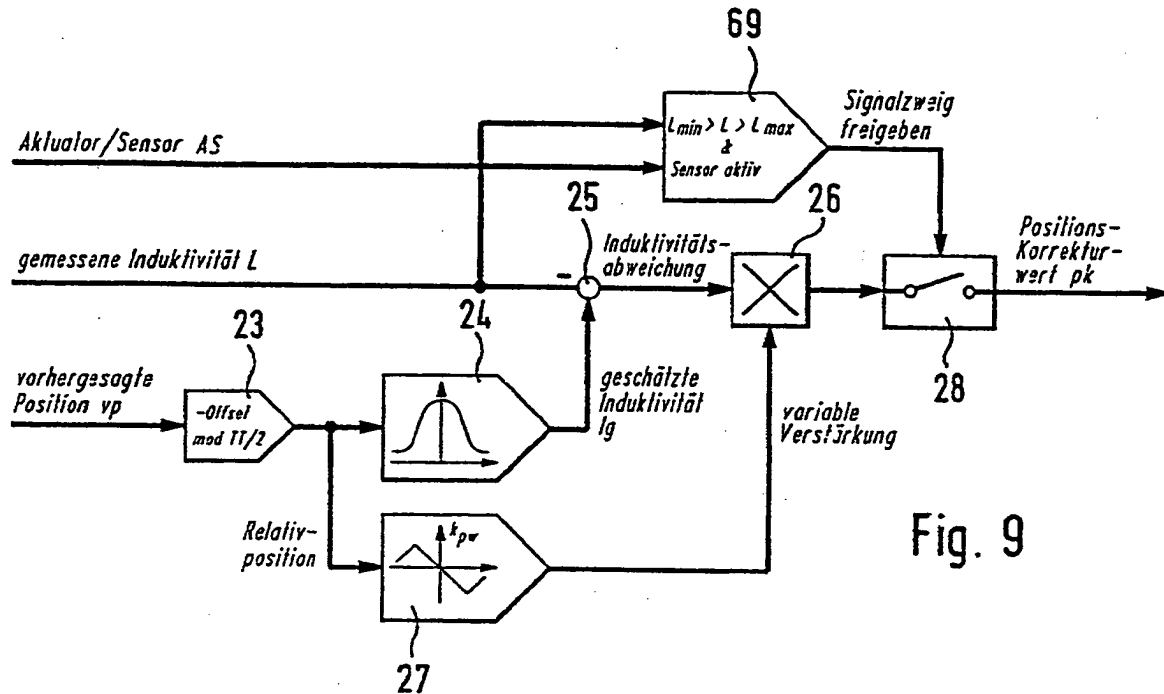


Fig. 9

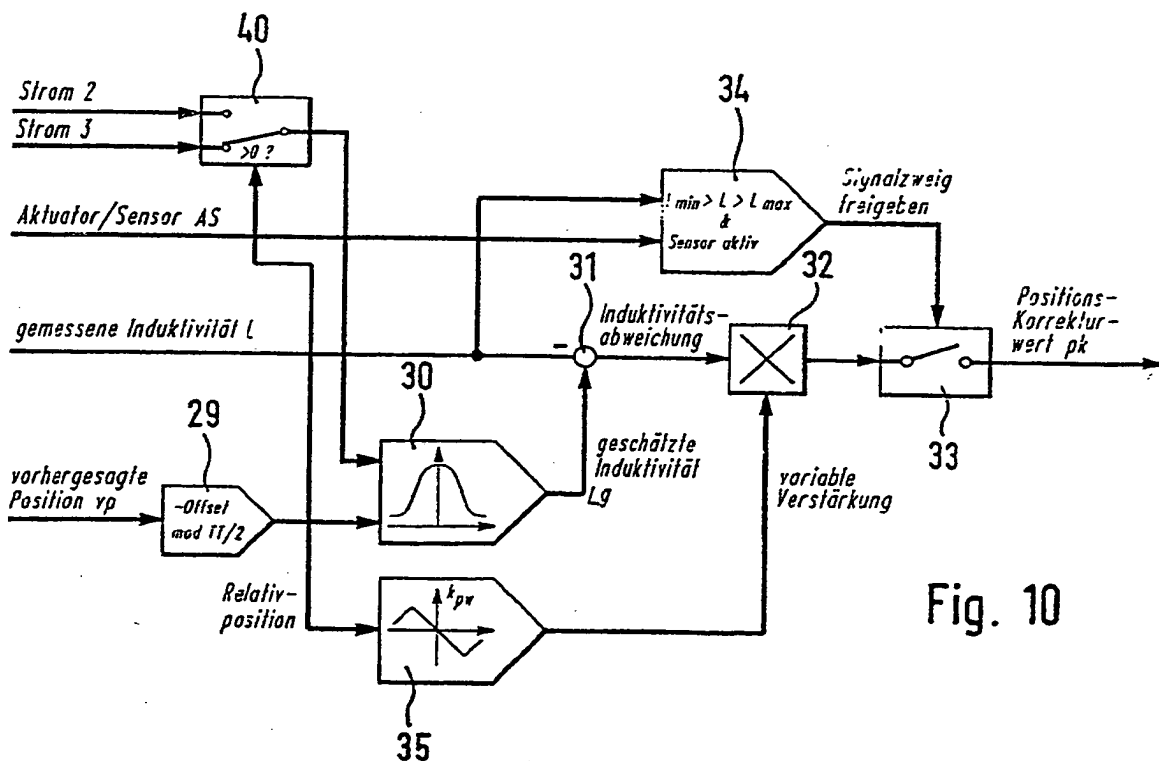


Fig. 10